Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 413-431

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۳۱-۴۱۳

مقاله علمی - پژوهشی

عملکرد پتانسیل گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) و تأثیر صفات گیاهی بر آن در شرایط اقلیم کنونی و آینده در سراسر ایران

سید مجید عالیمقام[۱]، افشین سلطانی[۲*]، وینسنت وادز[۳]، ابراهیم زینلی[۴] و اسکندر زند[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰

عالیمقام، س.م.، سلطانی، ا.، وادز، و.، زینلی، ا.، و زند، ا.، ۱۳۹۹. عملکرد پتانسیل گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) و تأثیر صفات گیاهی بر آن در شرایط اقلیم کنونی و آینده در سراسر ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۳۱-۴۱۳.

چکیده

اصلاح ارقام جدید در جهت افزایش عملکرد در واحد سطح همواره یکی از راهکارهای افزایش تولید محصولات کشاورزی بوده است. شناسایی صفات گیاهی تأثیرگذار بر عملکرد می‌تواند روند اصلاح ارقام جدید را تسریع بخشد. هدف از این مطالعه، شناسایی صفات گیاهی کلیدی در جهت افزایش عملکرد گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) در مناطق تولید گندم در سراسر ایران بود. این مطالعه به‌کمک شبیه‌سازی تأثیر صفات مختلف گیاهی بر عملکرد پتانسیل گندم آبی، توسط مدل SSM-Wheat برای شرایط اقلیم کنونی و آینده انجام شد. برای این منظور از پروتکل پروژه اطلس خلأ عملکرد، موسوم به پروتکل گیگا، در جهت شناسایی پهنه‌های اقلیمی و همچنین شناسایی ایستگاه‌های هواشناسی مهم واقع در مناطق تولید گندم آبی در کشور استفاده شد. برای پیش‌بینی شرایط اقلیم آینده از روش دلتا و سناریوی انتشار RCP4.5 برای سال ۲۰۵۵ استفاده شد. در این مطالعه اثر کاهش و افزایش طول دوره شروع پنجه‌دهی تا شروع ساقه رفتن، طول دوره پر شدن دانه، کارایی استفاده از تشعشع و توسعه سطح برگ بر عملکرد پتانسیل گندم آبی بررسی شد. میزان تأثیر افزایش طول دوره پر شدن دانه به‌عنوان صفت کلیدی بر عملکرد پتانسیل برای اقلیم کنونی ۱۵/۳ درصد و برای اقلیم آینده ۱۶/۸ درصد بود. افزایش کارایی استفاده از تشعشع در سطح کشور باعث افزایش ۱۴/۷ درصدی عملکرد برای اقلیم کنونی و ۱۳/۷ درصد برای اقلیم آینده شد. اثر افزایش کارایی استفاده از تشعشع بر عملکرد پتانسیل، در مناطق گرم (GDD>6000) بیشتر از مناطق خنک بود. افزایش طول دوره شروع پنجه‌زنی تا شروع ساقه رفتن، صفتی بود که فقط در مناطق گرم منجر به افزایش عملکرد شد و اثر آن در مناطق خنک یا ناچیز بود و یا کاهش عملکرد پتانسیل را در پی داشت. نتایج این مطالعه می‌تواند در انتخاب صفات کلیدی برای افزایش عملکرد و تسریع تولید ارقام پرمحصول در مناطق مختلف گندم آبی به کار گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: پروتکل گیگا، دیررسی، ژنوتیپ، کارایی استفاده از تشعشع، محیط، مدل SSM-Wheat.

مقدمه

گندم با نام علمی *Triticum aestivum* L. به‌عنوان مهم‌ترین محصول زراعی در ایران شناخته می شود. این محصول به‌ترتیب ۳۷ درصد از انرژی و ۴۰ درصد از پروتئین مورد نیاز مردم در این کشور را تأمین می کند (Salehi, 2012). بنابراین، امنیت غذایی مردم در ایران تا حدود زیادی وابسته به این محصول می‌باشد. افزایش جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی مانند گندم (FAOSTAT, 2018; Weigand & Analyst, 2011;Willenbockel, 2011)، در آینده می‌تواند کشور را در تأمین گندم با مشکلاتی مواجه کند. با توجه به واقع شدن ایران در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک و محدودیت دسترسی به آب، امکان

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۳- محقق ارشد مؤسسه ICRISAT در هند و مؤسسه IRD در فرانسه.
۴- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۵- استاد، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Afshin.Soltani@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.75590

افزایش سطح زیرکشت این محصول وجود ندارد. افزایش عملکرد پتانسیل گندم از طریق اصلاح با توجه به شرایط محیطی موجود در ایران و تولید ارقام جدید گندم، می تواند یکی از راهکارهای مناسب افزایش تولید گندم در ایران باشد.

اصلاح ارقام جدید برای عملکرد بیشتر، فقط بر مبنای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر، کار بسیار دشواری است. اصلاح‌گران (Reynolds et al., 2011) و فیزیولوژیست‌ها (Hammer et al., 2010; Sinclair, 2011) بر این باور هستند که در این شرایط، با شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد و استفاده از این صفات در برنامه‌های اصلاحی، می‌توان کارایی اصلاح و تولید ارقام جدید را بالاتر برد. درک مکانیسمی تأثیر صفات مطلوب بر عملکرد، کلید شناسایی صفات تأثیرگذار در افزایش عملکرد است (Fioran & Schurr, 2013). برای آزمون نحوه و میزان تأثیر صفات مختلف بر عملکرد دو رویکرد کلی وجود دارد: (i) آزمایشات تجربی (ii) استفاده از مدل‌های شبیه سازی. استفاده از ایزولاین ها و مقایسه عملکرد آن‌ها در شرایط مزرعه، نمونه‌ای از به‌کارگیری آزمایشات تجربی در جهت بررسی صفات به‌منظور تولید ارقام جدید است. به‌عنوان مثال، استفاده از ایزولاین‌های گندم دیم جهت بررسی تأثیر زودرسی بر عملکرد در شرایط استرالیا (Flohr et al., 2018) و استفاده از ایزولاین‌های گندم جهت بررسی تعداد پنجه بر عملکرد در شرایط دیم استرالیا (Moeller & Rebetzke, 2017) از نمونه‌های استفاده از آزمایشات مزرعه‌ای جهت بررسی تأثیر صفات بر عملکرد می‌باشند.

به‌دلیل وجود اثرات متقابل بین ژنتیک، محیط و مدیریت (G×E×M)، استفاده از روش تجربی برای ارزیابی اهمیت صفات گیاهی در چند مکان و یا در چند فصل ممکن است گران، غیرعملی و در برخی مواقع غیرممکن باشد (Anderson, 2010; Ghanem et al., 2015). از طرفی، وقوع پدیده تغییر اقلیم بر کسی پوشیده نیست. تغییر اقلیم خود می‌تواند باعث پیچیده‌تر شدن اثر G×E×M شود. به عبارتی دیگر، به‌دلیل اثر تغییر اقلیم ممکن است صفات گیاهی که در حال حاضر منجر به افزایش عملکرد می‌شوند، در شرایط اقلیم آینده اثر چندانی بر عملکرد نداشته و حتی باعث کاهش عملکرد شوند. در این شرایط استفاده از مدل‌های شبیه سازی می‌تواند راهکار مناسبی برای ارزیابی میزان تأثیر صفات گیاهی باشد (Martre et al., 2015; Sinclair, 2011). استفاده از مدل‌های شبیه سازی تولید گیاهان با هر هدفی، نیازمند داده های قابل اعتماد منطقه ای از قبیل اطلاعات مدیریتی (تاریخ کاشت، زمان رسیدگی رقم، تراکم بوته)، اطلاعات خاک و اطلاعات هواشناسی می باشد (Ramirez-Villegas & Challinor, 2012). در مطالعات گذشته مربوط به ارزیابی صفات، برای مناطق کوچک از اطلاعات ایستگاه های هواشناسی واقعی استفاده شده است (Soltani & Scinclair, 2012 a,b)، ولی برای مقیاس کشوری و جهانی، به‌طور عمده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی فرضی شبکه‌بندی شده استفاده شده است (Scinclair et al., 2010). داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های فرضی دارای خطا می‌باشند. همچنین در این روش، درون هر شبکه از نظر اقلیم، خاک و مدیریت تولید یکنواخت در نظر گرفته می شود که ممکن است در واقعیت چنین نباشد (Van Bussel et al., 2015). بنابراین، استفاده از این داده‌ها در شبیه سازی مدل های گیاهی می تواند باعث افزایش خطا در شبیه‌سازی تولید شود. در سال‌های اخیر برای حل این مشکل در پروژه اطلس جهانی خلأ عملکرد[1] روشی پیشنهاد شده است که به‌کمک آن می‌توان در سطح وسیع مانند کل کشور و حتی در سطح جهان، از اطلاعات داده های هواشناسی ایستگاه های واقعی در شبیه سازی تولید توسط مدل های گیاهی بهره برد (www.yieldgap.org). این روش برای شبیه‌سازی تولید به‌منظور برآورد خلأ عملکرد در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است (Espe et al., 2016; Liu et al., 2017; Van Bussel et al., 2015)، ولی تاکنون در ارزیابی صفات گیاهی از این روش استفاده نشده است. هدف از این مطالعه، ۱) استفاده از روش گیگا برای بررسی توزیع مکانی تولید گندم آبی در ایران، ۲) بررسی اثر صفات گیاهی بر عملکرد گندم آبی در شرایط اقلیم کنونی و آینده و ۳) توزیع مکانی میزان تأثیر صفات گیاهی کلیدی بر عملکرد گندم آبی می‌باشند.

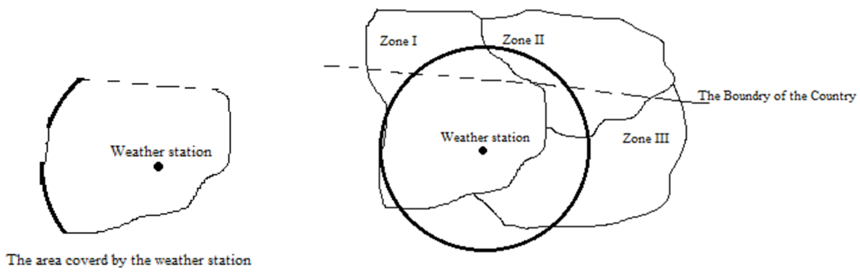
مواد و روش‌ها

برای تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی از روش ارائه شده در پروژه اطلس جهانی خلأ عملکرد استفاده شد (van Bussel et al., 2015). روش کار این چنین بود که ابتدا نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران از سایت اطلس جهانی خلأ عملکرد استخراج شد (www.yieldgap.org). در این نقشه پهنه های اقلیمی بر اساس سه فاکتور درجه روز رشد تجمعی در سال[2]، شاخص خشکی[3] و شاخص نوسانات دمایی فصلی[4] مشخص شده‌اند (www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted). سپس نقاط ایستگاه‌های هواشناسی موجود در ایران بر اساس عرض و طول جغرافیای روی نقشه پهنه بندی اقلیمی ایران قرار داده شد. در سطح

1- Global yield gap analysis
2- Growing degree days (GDD)
3- Annual aridity index (AI)
4- Temperature seasonality

کشور از ۲۲۷ ایستگاه هواشناسی برای این کار استفاده شد. دور هر ایستگاه دایره‌ای به شعاع ۱۰۰ کیلومتر کشیده شد. سپس دایره‌ها بر اساس مرزهای اقلیمی و مرزهای سیاسی کشور برش خوردند تا محدوده تحت پوشش هر اقلیم مشخص شود. به‌عنوان مثال، تعیین محدوده برای یک ایستگاه فرضی در شکل ۱ نشان داده شده است.

در صورتی که دایره‌های انداخته شده دور ایستگاه‌ها در داخل یک اقلیم هم‌پوشانی داشتند، دایره‌ها به‌صورت مساوی برای دو یا چند ایستگاه برش خوردند (شکل ۲). برای جزئیات بیشتر به وان بوسل و همکاران (Van Bussel et al., 2015) مراجعه شود.



شکل ۱- شکل شماتیک تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه هواشناسی با استفاده از کشیدن دایره ۱۰۰ کیلومتری دور ایستگاه هواشناسی و برش آن بر اساس محدوده اقلیمی

Fig. 1- Illustration of determination of area surrounded by a weather station according to GYGA protocol

شکل چپ: قبل از برش بافر بر اساس محدوده اقلیم و مرزهای سیاسی، شکل راست: محدوده نهایی برش خورده بر اساس محدوده اقلیمی و مرز سیاسی برای ایستگاه مورد نظر

The left: before clipping the buffer based on boundary of the country and climate zone border. The right: the final area covered by the given station after clipping by boundary of the country and climate zone border.

پس از تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه پراکنش اراضی گندم آبی کشور بر روی نقشه تهیه شده در مرحله قبل انداخته شد تا سطح پوشش اراضی گندم آبی واقع در محدوده هر ایستگاه هواشناسی تعیین شود. ایستگاه‌های هواشناسی که بیش از یک درصد از اراضی گندم آبی کشور را در محدوده خود داشتند، به‌عنوان ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWS[1]) در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که در محدوده ۲۰۰ ایستگاه هواشناسی اراضی گندم آبی وجود داشت که در ۳۰ ایستگاه، درصد اراضی بیش از یک درصد بود که این ۳۰ ایستگاه در مجموع ۵۸ درصد از اراضی گندم آبی کشور را تحت پوشش قرار دادند. در این مطالعه از داده‌های هواشناسی این ۳۰ ایستگاه جهت شبیه سازی تولید گندم استفاده شد. اطلاعات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

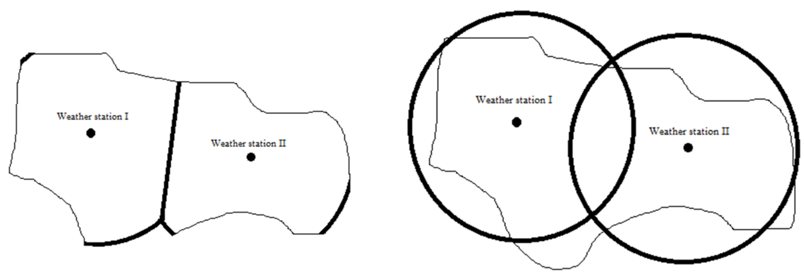
پس از شناسایی ایستگاه‌های مرجع، داده‌های هواشناسی این ایستگاه‌ها تهیه شد. برای اقلیم کنونی شبیه سازی برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ میلادی انجام شد. در صورتی که داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های مرجع برای این دوره زمانی ناقص بودند یا داده گم‌شده وجود داشت، از نرم افزار Weatherman (به‌عنوان یک افزونه بر روی مدل DSSAT) استفاده شد (www.dssat.net) تا این نواقص برطرف شوند. همچنین برای محاسبه مقدار تشعشع رسیده روزانه از روی اطلاعات ساعت آفتابی و تهیه فرمت نهایی داده‌های هواشناسی جهت استفاده در مدل SSM-Wheat[2] (مدل شبیه ساز گیاهی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت) از نرم‌افزار Weatherman استفاده شد. نرم‌افزار Weatherman به‌عنوان یک افزونه بر روی مدل DSSAT است که قابلیت تولید فرمت‌های مختلف برای داده‌های هواشناسی از روی داده‌های خام، رفع نواقص مربوط به عدم ثبت داده‌های هواشناسی در برخی از روزها، محاسبه تشعشع رسیده روزانه از روی داده‌های ساعت آفتابی با ضرایب آنگستروم و همچنین محاسبه تشعشع روزانه از روی دمای روزانه را دارد. برای شبیه‌سازی در شرایط اقلیم آینده از روش دلتا استفاده شد. روش کار این چنین بود که مقدار تغییرات دما و بارندگی پیش‌بینی شده برای ایران در سال

1- Reference weather station (RWS)

2- Simple simulation models-wheat

۲۰۵۶ بر ا ساس متو سط نتایج حا صل از ۴۲ مدل جهانی و بر ا ساس سناریوی انتشار RCP4.5 از فصل چهاردهم گزارش IPCC استخراج شـــد (Christensen et al., 2013). بر اســـاس این گزارش مقدار بارندگی در ایران در سال ۲۰۵۵ ن سبت به سال ۱۹۹۶ تغییر نخواهد کرد، ولی دما به‌مقدار ۱/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. مقدار تغیرات دما در سال ۲۰۵۵ ن سبت به سال ۲۰۰۷ میلادی (این سال به‌عنوان میانه دوره زمانی است که شبیه‌سازی برای اقلیم کنونی انجام شد) محا سبه و مقادیر دمای حداکثر و حداقل به همین میزان بر روی داده‌های هواشـــناســـی واقعی برای بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵، افزایش داده شدند تا داده‌های هواشناسی برای اقلیم آینده حاصل شوند. مقادیر بارندگی تغییری داده نشد.

همچنین، برای شرایط اقلیم کنونی، غلظت دی‌اکسید کربن ۳۸۵ پی‌پی‌ام (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends) و برای اقلیم آینده در سال ۲۰۵۵ میلادی بر اساس سناریوی انتشار RCP4.5 برابر ۵۰۰ پی‌پی‌ام (Van Vuuren et al., 2011) در نظر گرفته شد.



شکل ۲- شکل شماتیک تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه هواشناسی با استفاده از کشیدن دایره ۱۰۰ کیلومتری دور ایستگاه هواشناسی در زمانی‌که محدوده دایره‌ای ایستگاه‌ها داخل پهنه اقلیمی یکسان با هم هم‌پوشانی داشتند

Fig. 2- Illustration of the clipping applied to the buffers overlapped into a given zone

The left: two overlapped buffers into a given climate zone. The right: the final area covered after clipping.

برای شبیه سازی عملکرد گندم، علاوه‌بر اطلاعات هوا شنا سی به اطلاعات خاک شنا سی واقع در ای ستگاه‌های مرجع نیاز بود. برای این کار نقشـــه خاک کشـــور از پروژه HC27[1] اســـتخراج شـــد (Koo & Dimes, 2010). در این نقشـــه اطلاعات خاک قابل اســـتفاده در مدل SSM-Wheat وجود دارد. برای این کار، نقشـــه خاک روی نقشـــه محدوده تحت پوشش RWSها انداخته و نوع خاک موجود در محدوده هر RWS م شخص شد. در محدوده تحت پو شش هر RWS خاکی که بیش از ۵۰ در صد از سطح خاک در آن محدوده را پو شش می‌داد، به‌عنوان خاک کل محدوده تحت پوشش RWS در نظر گرفته شد. در صـــورتی که هیچ یک از خاک‌ها بیش از ۵۰ درصـــد از ســـطح تحت پو شش RWS را به خود اختصاص ندادند، تمامی خاک‌هایی که بیش از ۱۰ در صد از سطح اراضی تحت پو شش RWS را شامل می‌شدند، به‌عنوان خاک‌های غالب در محدوده پو شش آن RWS در نظر گرفته شدند (Van Bussel et al., 2015).

در این مطالعه شبیه سازی عملکرد، در شرایط ت شع شع محدود و عدم محدودیت نیتروژن انجام شد. تاریخ کا شت و تراکم بوته در واحد ســـطح مهم‌ترین اطلا عات مدیریتی بود ند که با ید در مدل وارد می شدند. تراکم، ۳۳۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. برای تعیین تاریخ‌های کاشـــت در شـــبیه‌ســـازی تولید گندم در هر منطقه، ابتدا تاریخ‌های کاشـــت تیپیک در هر RWS جمع‌آوری شـــد. در مطالعات قبلی تاریخ های کاشـــت تیپ یک گ ندم برای م ناطق مختلف ایران جمع‌آوری شـــده بود (Farshi, 1998). برای اطمی نان از اطلا عات تیپیک، اطلاعات تاریخ کا شت گندم در هر ا ستان با همکاری سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشـــاورزی جمع‌آوری شـــد و با اطلاعات موجود در فر شی (Farshi, 1998) مقای سه و در صورت نیاز اطلاعات بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده، به‌روزرسانی شدند. سپس بر اساس اطلاعات واقعی تاریخ کاشـــت، الگوریتمی تهیه شـــد تا بر اســـاس آن بتوان تاریخ کاشـــت گندم در محدوده تحت پوشـــش هر RWS در هر

1- HarvestChoice generic/prototypical soil profiles

سال را تعیین کرد.

جدول ۱- اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های مرجع شامل میانگین سالیانه تشعشع رسیده ($SRAD, Mj\ m^{-2}\ d^{-1}$)، دمای حداکثر (TMAX, °C)، دمای حداقل (TMN, °C)، متوسط دما (TEMP, °C) و بارندگی (PR, mm) و اراضی گندم آبی در محدوده تحت پوشش هر ایستگاه بر حسب هکتار

Table 1- Climatic characteristic of reference weather stations including mean annual solar radiation ($SRAD, Mj\ m^{-2}\ d^{-1}$), maximum temperature (TMAX, °C), minimum temperature (TMN, °C), mean temperature (TEMP, °C) and total precipitation (PR, mm) and irrigated wheat lands within the covered area by the stations (ha)

شماره No.	ایستگاه Station	تشعشع SRAD	دمای حداکثر TMX	دمای حداقل TMN	متوسط دما TEMP	بارندگی PR	مساحت اراضی گندم Wheat lands area*
1	اسلام آباد غرب Eslamabadgharb	20.5	22.7	5.3	14	426	46852 (2.1%)
2	سقز Saghez	18.4	19.3	3.1	11.2	414	44624 (2%)
3	نهاوند Nahavand	19	21.2	6.4	13.8	379	34998 (1.6%)
4	ارومیه Oromiyeh	17.4	18.5	5.3	11.9	295	56518 (2.5%)
5	یاسوج Yasouj	19.5	23.1	7.5	15.3	804	22691 (1%)
6	تخت جمشید Takhtejamsheid	19.2	25.5	9.5	17.5	298	23794 (1.1%)
7	زرقان Zarghan	19.5	25.6	8.2	16.9	287	36583 (1.6%)
8	همدان Hamadan	19.9	19.7	3.3	11.5	294	19479 (1.0%)
9	شیراز Shiraz	20.2	26.5	10.5	18.5	298	23481 (1.1%)
10	درودزن Dorodzan	19.8	24.6	10.8	17.7	442	28192 (1.3%)
11	مشکین شهر Meshkinshahr	14.8	15.5	6.3	10.9	379	46422 (2.1%)
12	الیگودرز Aligoodarz	18.9	19.7	6	12.8	400	44219 (2%)
13	قوچان Ghoochan	17.9	19.9	5.8	12.8	319	26491 (1.2%)
14	کمیجان Komijan	18.5	20.4	5.4	12.9	251	47415 (2.1%)
15	حاجی آباد Hajiabad	20.9	31.6	14.7	23.2	170	27669 (1.2%)
16	تبریز Tabriz	16.6	19.4	7.9	13.7	243	20235 (0.9%)
17	کرمانشاه Kermanshah	17.4	18.5	5.3	11.9	295	33182 (1.5%)
18	جهرم Jahrom	20.1	30.8	13.8	22.3	196	34699 (1.6%)
19	کرج Karaj	17.7	21.9	9.4	15.6	271	47945 (2.1%)

20	تربت جام Torbate Jam	19	22.8	9.1	16	148	26499 (1.2%)
21	گنبد Gonbad	16.3	24.8	12.9	18.8	452	27078 (1.2%)
22	بیلسوار Bilesowar	15.3	20.6	10.8	15.7	382	32508 (1.5%)
23	دزفول (صفی آباد) Dezful (Safiabad)	19.9	32.6	16.5	24.6	291	115119 (5.1%)
24	هاشم آباد Hashmabad	15	23.5	13.2	18.4	529	95397 (4.3%)
25	سبزوار Sabzevar	18.2	25.1	11.7	18.4	176	29414 (1.3%)
26	گرمسار Garmsar	18.5	26.2	12.8	19.5	115	34404 (1.5%)
27	زابل Zabol	19.2	30.8	15.5	23.1	38	49020 (2.2%)
28	اهواز Ahwaz	19.1	33.7	19.5	26.6	192	147983 (6.6%)
29	امیدیه (پایگاه) Omidiyeh (Paygah)	17.8	34.2	18	26.1	218	51077 (2.3%)
30	آبادان) Abadan	19.0	34.1	19.2	26.6	134	30124 (1.3%)

* اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده سهم هر ایستگاه از اراضی گندم آبی از کل گندم آبی موجود در کشور است که ایستگاه‌های منتخب در این جدول ۵۸ درصد از اراضی گندم آبی را تحت پوشش قرار دادند.

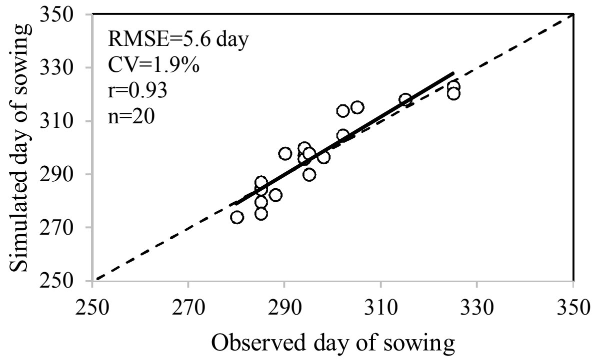
* The values in the parentheses show the percent of the existing land within each RWS where the sum of the area covered by the RWSs was around 58% from national irrigated wheat lands.

با توجه به اطلاعات تاریخ‌های کاشت تیپیک جمع‌آوری شده برای مناطق مختلف تولید گندم آبی در کشور، این الگوریتم به این صورت بود که در یک بازه زمانی ۱۵۰ روزه از اول شهریور، عمل شبیه سازی برای پیدا کردن تاریخ کاشت انجام شد. در این بازه زمانی، اولین دوره پنج روزه بدون بارندگی و با دمای میانگین کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد (در مناطق گرم شامل آبادان، اهواز، دزفول، جهرم، امیدیه و زابل دمای تعیین شده کمتر از ۱۸ سانتی‌گراد بود)، پیدا و آخرین روز از این دوره پنج روزه به‌عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد. دقت تاریخ‌های کاشت پیدا شده توسط این الگوریتم با داده‌های تاریخ کاشت متداول و واقعی بررسی شد که در شکل ۳ نشان داده شده است.

مدل SSM-Wheat برای شبیه سازی عملکرد مورد استفاده قرار گرفت، این مدل در شرایط تشعشع محدود و نیتروژن نامحدود به‌صورت روزانه فنولوژی، تولید و توسعه سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک، تولید عملکرد و موازنه آب در خاک را شبیه‌سازی می‌کند. برای اطلاعات بیشتر در مورد این مدل به سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2012 c) و سلطانی و همکاران (Soltani et al. 2013) مراجعه کنید.

اطلاعات هواشناسی روزانه مورد نیاز در مدل شامل تشعشع بر حسب مگاژول در مترمربع در روز، دمای حداقل و بیشینه بر حسب سانتی‌گراد و مقدار بارندگی بر حسب میلی‌متر می‌باشند. اطلاعات خاک مورد نیاز مدل SSM-Wheat شامل ضریب آلبیدو، عمق، مقدار ظرفیت زراعی خاک، نقطه پژمردگی دائم، مقدار ماده آلی، مقدار نیتروژن، کسر فراوانی مواد زبر، ضریب زهکشی، شماره منحنی برای محاسبه رواناب و وزن مخصوص ظاهری در لایه های مختلف می‌باشند. در این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط تشعشع محدود، اثر دماهای اکستریم (دماهای یخبندان و دماهای بالا) بر توسعه سطح برگ، اثر دماهای بالا در زمان گل‌دهی و تأثیر آن بر عملکرد و اثر خشکی هوا بر تولید ماده خشک در نظر گرفته شده است. در مطالعات قبلی دقت این مدل برای شبیه‌سازی به‌خوبی نشان داده شده است (Lollato et al., 2016; Soltani & Sinclair, 2015; Soltani et al., 2013). سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2015) گزارش کردند که ضریب تغییرات برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط ایران برابر ۸/۲ درصد بود. این در حالی بود که ضریب تغییرات برای مدل CropSyst برابر ۱۴/۳ درصد، برای مدل APSIM برابر ۱۵ درصد و برای مدل DSSAT برابر ۱۸/۵

درصد بود.



شکل ۳- نمودار یک به یک تاریخ‌های کاشت شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم تاریخ کاشت در مقابل تاریخ‌های کاشت تیپیک بر اساس روز از سال میلادی در محدوده RWSهای گندم دیم در ایران

Fig. 3- Simulated versus observed number of sowing date based on day of year for the regions covered by the RWSs

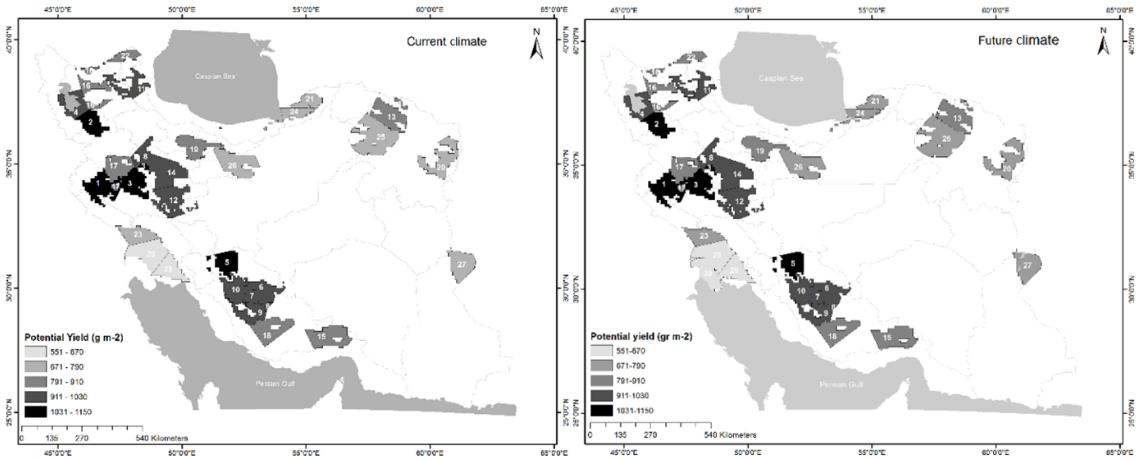
در این مطالعه اثر چهار صفت گیاهی شامل طول دوره پنجه‌دهی تا شروع ساقه رفتن، طول دوره پر شدن دانه، کارایی استفاده از تشعشع و سرعت توسعه سطح برگ بر عملکرد گندم آبی توسط مدل شبیه‌ساز SSM-Wheat مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثر این صفات این چنین بود که ابتدا شبیه‌سازی عملکرد گندم بر اساس پارامترهای گیاهی ارقام موجود در کشور انجام شد. سپس به صورت جداگانه با تغییر چهار صفت بالا، شبیه‌سازی دوباره انجام شد. در هر مرتبه شبیه سازی، یکی از این صفات به‌مقدار ۲۰ درصد افزایش یا کاهش داده شد تا اثر تغییر هر یک از این صفات بر عملکرد مشخص شود. در مورد سرعت توسعه سطح برگ، چون ۲۰ درصد عدد بزرگی است و عملاً ارقامی با این مقدار نوسان در این صفت وجود ندارد، مقدار تغییر برای این صفت ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. شبیه‌سازی برای هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده به‌صورت مجزا انجام شد.

نتایج و بحث

در شکل ۴ توزیع مکانی عملکرد پتانسیل گندم آبی در مناطق مهم تولید این محصول در کشور در شرایط اقلیمی کنونی و آینده نشان داده شده است. مقدار عملکرد پتانسیل برای کل کشور در شرایط اقلیم کنونی ۷۷۲ گرم در مترمربع و اقلیم آینده ۸۲۸ گرم در مترمربع بود (در این مطالعه کلیه مقادیر عملکردها بر اساس وزن خشک گزارش شده است). در شریط اقلیم کنونی مقدار عملکرد پتانسیل بین ۵۵۱ (ایستگاه آبادان) و ۹۸۶ گرم در مترمربع (ایستگاه اسلام‌آباد) متغیر بود. در شرایط اقلیم آینده دامنه تغییرات عملکرد پتانسیل بین ۵۲۴ (ایستگاه آبادان) و ۱۰۷۴ گرم در مترمربع (ایستگاه سقز) قرار داشت. بیشترین عملکرد پتانسیل گندم آبی در شرایط اقلیم کنونی مربوط به مناطق واقع در شمال غرب (جنوب دریاچه ارومیه)، غرب و جنوب ایران (شمال استان فارس) بود. کمترین عملکرد پتانسیل در استان‌های خوزستان، سیستان و بلوچستان، بخش غربی استان خراسان رضوی و استان گلستان مشاهده شد (شکل ۴). بیشترین پتانسیل عملکرد در شرایط اقلیمی آینده، مشابه مناطقی بود که در شرایط اقلیم کنونی حاصل شد. در شرایط تغییر اقلیم، کمترین عملکرد پتانسیل در ایستگاه‌های واقع در استان های سیستان و بلوچستان و خوزستان مشاهده شد (شکل ۴).

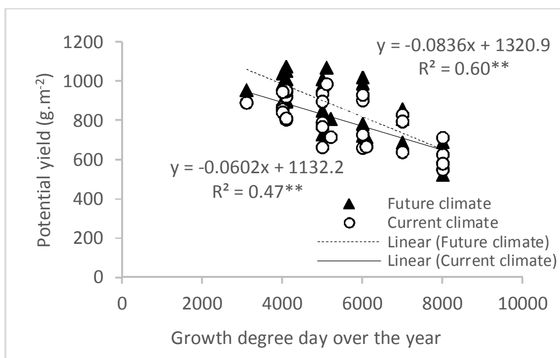
نتایج این مطالعه نشان داد که در شرایط اقلیم کنونی، دما یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد تغییرات عملکرد پتانسیل گندم آبی در مناطق مختلف تولید این محصول در کشور بود. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در هر دو شرایط اقلیمی کنونی و آینده با افزایش دمای مناطق تولید گندم، عملکرد پتانسیل گندم کاهش یافت. مقدار افزایش عملکرد در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط اقلیم کنونی، در مناطق مختلف تولید گندم، یکسان نبود. بیشترین افزایش عملکرد ناشی از تغییر اقلیم در مناطق خنک‌تر مشاهده شد (شکل ۵). در مناطق گرم‌تر برای تولید گندم آبی، اثر مثبت تغییر اقلیم بر عملکرد پتانسیل نسبت به اقلیم کنونی کاهش یافت، به‌طوری‌که در مناطقی

که مقدار زمان حرارتی تجمعی در سال برابر ۸۰۰۰ درجه روز رشد بود، تغییر اقلیم اثر مثبتی بر عملکرد پتانسیل نداشت (شکل ۵).



شکل ٤- عملکرد پتانسیل گندم آبی در مناطق مهم تولید این محصول در ایران

Fig. 4- Spatial distribution of irrigated wheat potential yield across Iran

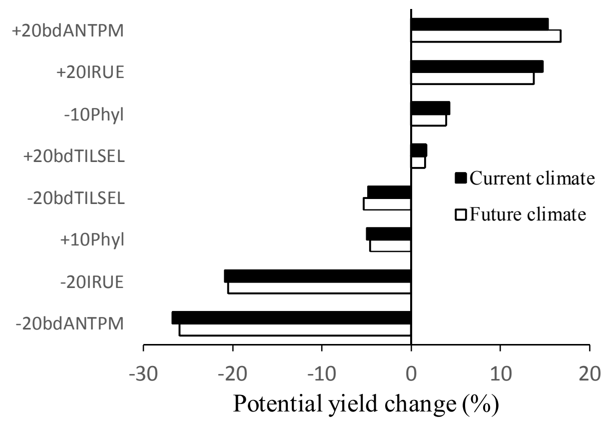


شکل ۵- رابطه بین عملکرد پتانسیل و مقدار زمان حرارتی تجمعی در کل طول سال (بر اساس دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد) در مناطق مهم تولید گندم ایران در شرایط اقلیم کنونی و آینده

Fig. 5- The relationship between cumulative thermal time over the year and irrigated wheat potential yield

در شکل ۶ تأثیر صفات مختلف گیاهی مورد بررسی در این مطالعه بر متوسط عملکرد پتانسیل گندم آبی در سطح کل کشور نشان داده شده است. در هر دو شرایط اقلیم کنونی و اقلیم آینده، در بین صفات مورد بررسی، افزایش طول دوره پر شدن دانه، بیشترین تأثیر مثبت بر افزایش متوسط عملکرد گندم آبی در کشور داشت. اثر این صفت در شرایط اقلیم آینده، بیشتر از اقلیم کنونی بود. افزایش کارایی استفاده از تشعشع بعد از صفت افزایش طول دوره پر شدن دانه، بیشترین تأثیر را بر متوسط عملکرد پتانسیل گندم آبی در کشور دارا بود (شکل ۶). در شرایط اقلیم کنونی، تأثیر این صفت بیشتر از شرایط اقلیم آینده بود. تسریع توسعه سطح برگ نیز منجر به افزایش عملکرد شد، ولی در مقایسه با دو صفت دیگر اثر مثبت کمتری داشت. اثر افزایش طول دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده بر عملکرد پتانسیل ناچیز بود (شکل ۶). صفات کاهش طول دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن، کاهش سرعت توسعه سطح برگ، کاهش کارایی استفاده از تشعشع و کاهش طول دوره پر شدن دانه نسبت به مقادیر کنونی، در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده بر عملکرد تأثیر منفی داشتند (شکل ۶). به نظر می‌رسد که در شرایط اقلیم آینده در این مناطق، در طول دوره رویشی فرصت کافی برای تولید ماده خشک وجود داشته و نیازی به افزایش طول دوره رشد وجود ندارد.

افزایش طول دوره رویشـــی ناشـــی از افزایش دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن اثر چشمگیری بر عملکرد دانه در سطح کل کشور نداشت (شکل ۶). این صفت در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده در برخی از مناطق منجر به کاهش عملکرد پتانسیل گندم آبی شد (شکل ۷). عمده مناطقی که با افزایش طول دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن با کاهش عملکرد مواجه شدند، در مناطق خنک واقع شده‌اند.

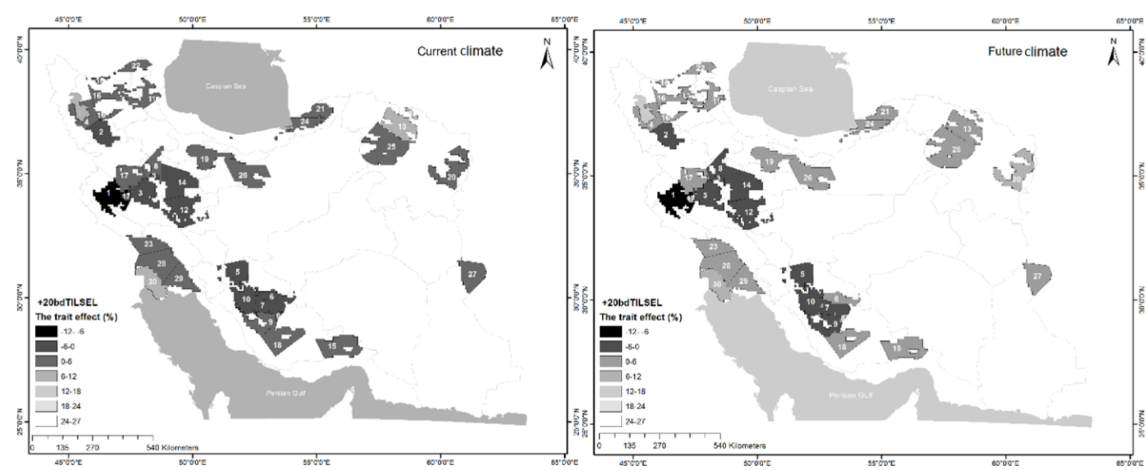


شکل ٦- تأثیر تغییر صفات گیاهی بر متوسط عملکرد پتانسیل گندم آبی در ایران

Fig. 6- The effect of traits modification on irrigated wheat potential yield across the whole country under current and future climates

bdANTPM: روز بیولوژیک از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک، IRUE: کارایی استفاده از تشعشع، Phyl: فیلوکرون، bdTILSEL: روز بیولوژیک از شروع پنجه‌دهی تا شروع ساقه رفتن (مقادیر قبل از صفات نشان‌دهنده میزان تغییرات این پارامترها می‌باشند)

bdANTPM: biological days from anthesis to physiological maturity; IRUE: Radiation use efficiency; Phy: phyllochron; bdTILSEL: biological days from emergence to first-tiller (The values before the traits' names indicate the percent of the traits modification)

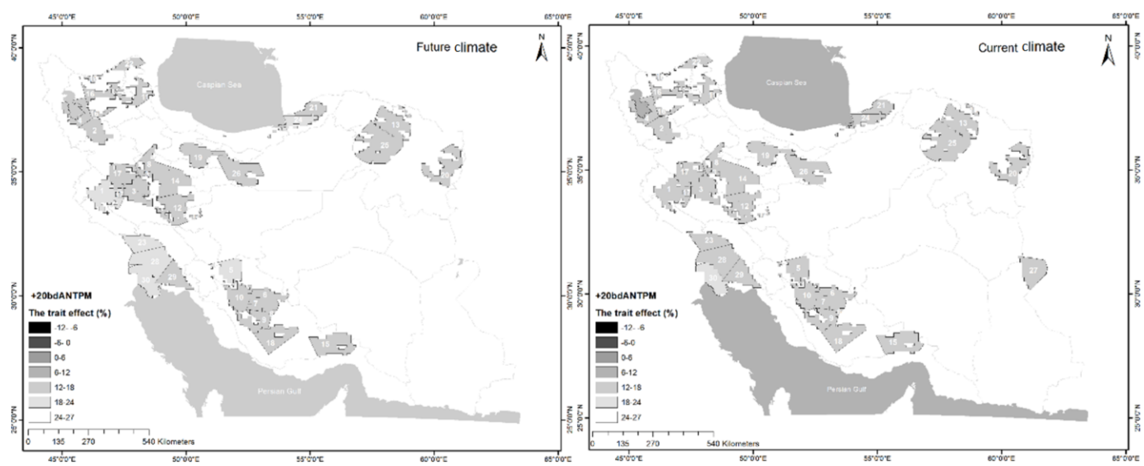


شکل ۷- تأثیر افزایش ۲۰ درصدی طول دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن بر پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مهم تولید در ایران

Fig. 7- The effect of increasing biological days from first-tiller to first-node on irrigated wheat potential yield across the whole country

در بین صـفات گیاهی مورد بررسـی در این مطالعه، افزایش طول دوره پر شـدن دانه تنها صـفتی بود که در همه مناطق تولید گندم در کشور، اثر مثبتی بر افزایش عملکرد در هر دو شرایط اقلیمی کنونی و آینده داشت. در شرایط اقلیمی کنونی در همه مناطق به غیر از ایستگاه آبادان با کد ۳۰، افزایش ۲۰ درصـدی در طول دوره پر شـدن دانه در مناطق مهم تولید گندم آبی در کشـور منجر به افزایش عملکرد پتانسیل گندم آبی بین ۱۲ تا ۱۸ در صد شد (شکل ۸). در ایستگاه آبادان مقدار افزایش عملکرد ناشـی از این صـفت ۲۰ درصـد بود که

بیشتر از سایر مناطق بود. میزان تأثیر این صفت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به اقلیم کنونی، بیشتر بود، به‌طوری‌که متوسط افزایش عملکرد پتانسیل ناشی از این صفت در شرایط اقلیمی کنونی برابر ۱۵ در صد بود ولی در شرایط اقلیمی آینده به ۱۷ درصد رسید (شکل ۶). اثر این صفت بر روی عملکرد پتانسیل در شرایط تغییر اقلیم، در مناطق واقع در نیمه غربی کشور بیشتر از سایر مناطق بود (شکل ۸). این صفت هم در مناطق گرم و هم در مناطق خنک تولید گندم در هر دو شرایط اقلیمی کنونی و آینده اثر افزاینده بر عملکرد پتانسیل داشت. با توجه به نتایج حاصل به نظر می‌رسد که افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌تواند صفت هدف مناسبی برای تولید ارقام هم در شرایط اقلیم کنونی و هم در جهت مواجهه با شرایط تغییر اقلیم، باشد.

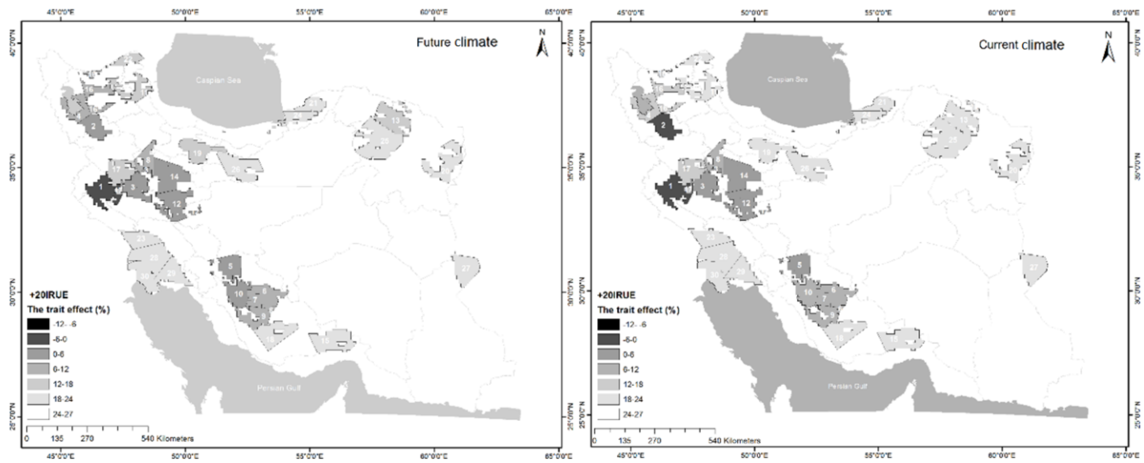


شکل ۸- تأثیر افزایش ۲۰ درصدی طول دوره پر شدن دانه بر پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مهم تولید در ایران

Fig. 8- The effect of increasing biological days from anthesis to physiological maturity on irrigated wheat potential yield across the whole country

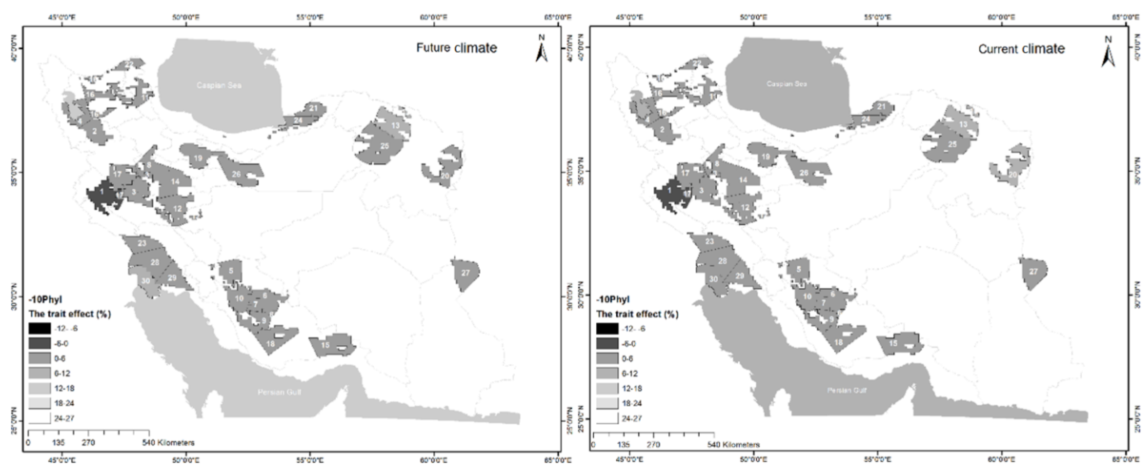
برخلاف افزایش طول دوره پر شدن دانه که اثر مثبت آن در همه مناطق تولید گندم مشاهده شد، تأثیر افزایش کارایی استفاده از تشعشع در مناطق مختلف تولید گندم متفاوت بود (شکل ۹). در شرایط اقلیم کنونی، بیشترین تأثیر این صفت در مناطق واقع در حاشیه دریای خزر، جنوب و شرق ایران مشاهده شد. این در حالی بود که در مناطق خنک‌تر که در غرب و شمال غرب واقع شده‌اند، اثر این صفت کمتر و حتی در ایستگاه‌های شماره ۱ و ۲ اثر منفی این صفت بر عملکرد مشاهده شد (شکل ۹). اثر افزایش ژنتیکی کارایی استفاده از تشعشع بر عملکرد در هر دو شرایط اقلیمی کنونی و آینده به‌طور عمده در مناطق خنک‌تر (مناطق دارای کمتر از ۶۰۰۰ درجه روز رشد تجمعی در طول سال)، کمتر از مناطق با اقلیم گرم‌تر بود (شکل ۹). حتی در برخی از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه اسلام‌آباد (کد ایستگاه ۱) و سقز (کد ایستگاه ۲) در شرایط اقلیم کنونی و در ایستگاه اسلام‌آباد در شرایط اقلیم آینده، تحت تأثیر منفی این صفت قرار گرفتند (شکل ۹).

افزایش سرعت توسعه سطح برگ ناشی از کاهش مقدار فیلوکرون تأثیر چشمگیری بر افزایش عملکرد نداشت. به‌طوری‌که در شرایط اقلیم کنونی منجر به افزایش ۴/۳ درصد و در شرایط اقلیم آینده به افزایش ۳/۹ درصد متوسط عملکرد در سطح کل کشور شد (شکل ۶). در شرایط اقلیم کنونی فقط در دو ایستگاه شماره ۱۳ (قوچان) و ۲۰ (تربت جام) مقدار افزایش عملکرد بیش از شش درصد بود. این در حالی بود که در ایستگاه شماره ۱ (اسلام‌آباد) این صفت در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده منجر به کاهش عملکرد پتانسیل شد (شکل ۱۰). در شرایط اقلیم آینده نیز در دو ایستگاه (قوچان و آبادن) اثر این صفت بر عملکرد پتانسیل بالاتر از شش در صد بود. در هیچ کدام از ایستگاه‌ها اثر این صفت بالای شش درصد نبود.



شکل ۹- تأثیر افزایش ۲۰ درصدی کارایی استفاده از تشعشع بر پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مهم تولید در ایران

Fig. 9- The effect of increasing radiation use efficiency on irrigated wheat potential yield across the whole country



شکل ۱۰- تأثیر کاهش ۲۰ درصدی فیلوکرون (تسریع توسعه سطح برگ) بر پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مهم تولید در ایران

Fig. 10- The effect of decreasing phyllochron on irrigated wheat potential yield across the whole country

با تسریع نمو مراحل فنولوژیک و کوتاه شدن طول دوره رشد طی شرایط تغییر اقلیم، در کل مناطق تولید گندم آبی در کشور، مقدار کل تشعشع رسیده به گیاه در حدود ۱۰ در صد نسبت به شرایط اقلیم کنونی کاهش یافت. کاهش تشعشع رسیده به گیاه می‌تواند منجر به کاهش تولید ماده خشک شود. در شرایط تغییر اقلیم، برآیند حاصل از کاهش تولید ماده خشک ناشی از کاهش تشعشع رسیده در طول فصل رشد (اثر منفی دما) و افزایش تولید به‌دلیل افزایش کارایی استفاده از تشعشع در طول فصل رشد (اثر مثبت دما و دی اکسید کربن)، تعیین کننده اثر مثبت یا منفی تغییر اقلیم است. در مناطق گرم‌تر (GDD>6000) نسبت به سایر مناطق که دمای هوا نزدیک به دمای بهینه برای کارایی استفاده از تشعشع بود، اثر تغییر اقلیم بر افزایش عملکرد کمتر از مناطق خنک‌تر بود (شکل ۱۱). به عبارتی دیگر، چون در این مناطق دمای هوا نزدیک دمای بهینه بود، تأثیر مثبت دما بر روی افزایش کارایی استفاده از تشعشع ناچیز بود و در این مناطق افزایش کارایی استفاده از تشعشع به‌طور عمده به‌دلیل افزایش غلظت دی‌اکسید کربن حاصل شد. بنابراین، در مناطق گرم در مقایسه با مناطق خنک‌تر، افزایش کارایی استفاده از تشعشع کمتری حاصل شد. از آن‌جایی که بین تولید ماده خشک نهایی و عملکرد رابطه مستقیمی وجود دارد (Reynolds et al., 2007)، کاهش طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد می‌شود. در کنار اثر منفی افزایش دما،

این فاکتور اثر مثبت بر تولید ماده خشک نیز داشت.

با افزایش دما (به‌خصوص در دوره رویشی که دما زیر دمای بهینه برای رشد گیاه است)، کارایی استفاده از تشعشع به‌خصوص در مناطق خنک افزایش یافت. رابطه بین کارایی استفاده از تشعشع و دما به‌شکل تابع دندان‌مانند یا تابع بتا می‌با شد (Hanson, 1982; Ribeiro et al., 2006; Soltani & Sinclair, 2012 c; Wang et al., 2017 a). به عبارتی دیگر، در صـــورتی که دمای محیط کمتر یا بیشـــتر از دمای بهینه برای کارایی اسـتفاده از تشـعشـع باشـد، مقدار آن کاهش می یابد. به‌طور عمده در مناطق تولید گندم در ایران، دمای هوا در زمان رشـد رویشـی کمتر از دمای بهینه و در زمان پر شـدن دانه در دامنه دمای بهینه برای کارایی ا ستفاده از ت شع شع قرار دارد. بنابراین، افزایش دما، به‌خصـوص در مرحله رشـد رویشـی، اثر مثبتی بر مقدار کارایی استفاده از تشعشع داشت و باعث افزایش تولید ماده خشک شد. این در حالی ا ست که هم‌زمان با اثر مثبت دما بر روی کارایی ا ستفاده از تشـعشـع، افزایش غلظت دی‌اکسـید کربن جوّ نیز منجر به افزایش کارایی استفاده از تشعشع شد (Morison et al., 1985; Sultana et al., 2009). تائو و ژانگ (Tao & Zhang, 2013) گزارش کردند که در شـــرایط اقلیم آینده به احتمال زیاد عملکرد گندم آبی در چین افزایش خواهد یافت. ایشـــان گزارش کردند که عملکرد گندم آبی در دهه ۲۰۲۰ در حدود ۳۸ درصد، در دهه ۲۰۵۰ در حدود ۶۸ درصد و در دهه ۲۰۸۰ در حدود ۸۷ درصـــد نســـبت به دوره زمانی ۱۹۶۱–۱۹۹۰ افزایش خواهد داشـــت. این محققان بیان کردند که در شـــرایط اقلیم آینده طول دوره رویشـــی کوتاه‌تر، ولی طول دوره پر شـدن دانه تغییر کمتری خواهد داشت. افزایش کارایی استفاده از تشعشع ناشی از تأثیر مثبت دما و افزایش غلظت دی‌اکســـید کربن جوّ، مهم‌ترین عامل افزایش عملکرد در شرایط اقلیم آینده خواهد بود.

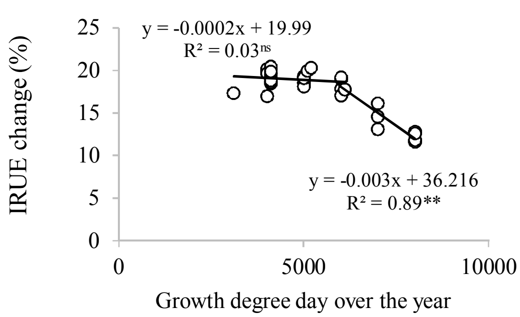
در مناطق گرم‌تر که طول دوره رویشـــی کوتاه‌تر از مناطق خنک می‌باشـد، کاهش طول دوره رشـد باعث کاهش تشـعشـع دریافتی در طول دوره رشد و در نتیجه، کاهش تولید ماده خشک در این مناطق را در پی دا شت. از سویی دیگر، افزایش کارایی ا ستفاده از ت شع شع تا حدودی منجر به رفع اثر منفی کاهش ت شع شع ر سیده در ف صل ر شد شد. به عبارتی دیگر، ت شع شع ر سیده با وجود این‌که کمتر بود، ولی با کارایی بالاتری اســـتفاده شـــد. به هر حال، در مناطق گرم‌تر، به‌دلیل کوتاه‌تر بودن طول دوره ر شد رویشی و کاهش تشعشع رسیده، مقدار ماده خشک تجمع یافته در زمان گرده‌افشانی، کمتر از مناطق خنک‌تر بود. در این مناطق اثر منفی افزایش کارایی استفاده از تشعشع بر روی شـــاخص برداشـــت ناچیز بود. بنابراین، در مناطق گرم، افزایش کارایی استفاده از تشعشع از طریق افزایش تولید ماده خشک منجر به افزایش عملکرد شـــد. در حالی که در مناطق خنک‌تر، علاوه‌بر بیشـــتر بودن تشـعشـع دریافتی در طول دوره رویشـی، افزایش کارایی اسـتفاده از ت شع شع در افزایش تجمع ماده خ شک در زمان گرده‌اف شانی مؤثر بود. به دنبال افزایش تولید ماده خشک در زمان گرده‌افشانی، مقدار شاخص بردا شت کاهش یافت. به‌عنوان مثال در ایستگاه سقز در شرایط اقلیم کنونی، بدون افزایش کارایی استفاده از تشعشع مقدار شاخص برداشت ۴۹ درصد و پس از افزایش کارایی تشعشع به ۳۹ درصد رسید. افزایش کارایی استفاده از تشعشع منجر به کاهش سه درصدی عملکرد در این ایستگاه شد (شکل ۹).

در شرایط تغییر اقلیم، اثر مثبت افزایش کارایی استفاده از تشعشع به‌خصـــوص در مناطق خنک‌تر، کمتر از شـــرایط اقلیم کنونی بود. در شـــرایط اقلیم آینده، بدون اعمال تغییر ژنتیکی، به‌دلیل افزایش غلظت دی‌اکسید کربن جوّ و همچنین اثر مثبت دما بر روی کارایی استفاده از تشعشع در دوره رویشی، مقدار کارایی استفاده از تشعشع با تغییر اقلیم افزایش یافت. هم‌زمان با اثر مثبت محیط بر کارایی استفاده از تشعشع در شرایط اقلیم آینده، افزایش ژنتیکی کارایی استفاده از تشعشع منجر به تأثیر منفی افزایش ماده خشـک در زمان گرده‌افشـانی بر شـاخص برداشـت، به‌خصـوص در مناطق خنک‌تر شـد (شـکل ۹). به‌طوری‌که مقدار شاخص برداشت در شرایط تغییر اقلیم با افزایشِ ژنتیکیِ کارایی استفاده از تشعشع در ۲۲ ایستگاه، نسبت به شرایط عدم تغییر ژنتیکی کارایی اسـتفاده از تشـعشـع، کاهش داشـت. این در حالی بود که در شرایط اقلیم کنونی، این کاهش در ۱۹ ایستگاه مشاهده شد.

مدل مفهومی Yield=RAD×RUE×HI تولید ماده خشـک و عملکرد را تو صیف می‌کند (Reynolds et al., 2011; Soltani & Sinclair, 2012 c). در این رابطه حاصـلضـرب دو جزء اول رابطه (ت شع شع دریافتی در کارایی ا ستفاده از ت شع شع)، مقدار ماده خ شک تولید شده را نشان می‌دهد. دما فاکتوری است که هر سه این متغیرها را تحت تأثیر قرار می دهد. در صـــورتی که دمای محیط پایین‌تر از دمای بهینه برای نمو گیاه با شد، سرعت نمو فنولوژیک با افزایش دما، افزایش می‌یابد (Wang et al., 2017 a). به‌عنوان مثال، چیملو سکی و همکـاران (Chmielewski et al., 2004) تغییرات فنولوژیـک گیاهان باغی و زراعی در طی دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ را در آلمان مورد

بررسی قرار دادند. ایشان گزارش کردند که در این دوره زمانی با افزایش دما، نمو فنولوژیک گیاهان زراعی و باغی سریع‌تر اتفاق افتاد. بر اساس نتایج این محققان، مراحل فنولوژیکی که در زمان خنک‌تر سال (ابتدای بهار) اتفاق می‌افتادند (مانند فاز رشد رویشی گیاهان پاییزه) در مقایسه با نمو مراحل فنولوژیکی که در اواخر بهار یا تابستان (در بازه گرم‌تر سال) رخ دادند (مانند فاز زایشی گیاهان پاییزه)، بیشتر تحت تأثیر افزایش دما قرار گرفته‌اند. در مطالعه‌ای دیگر، اثر تغییر اقلیم بر مراحل نمو فنولوژیک و طول دوره رسیدگی گندم در کمربند تولید گندم در استرالیا مورد بررسی قرار گرفت (Wang et al., 2017 b). ایشان نشان دادند که در شرایط تغییر اقلیم، طول دوره کاشت تا گل‌دهی گندم ۱۴ تا ۳۱ روز (در مناطق مختلف کمربند تولید گندم تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم) کاهش داشت. طول کل دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در این مناطق ۱۵ تا ۳۳ روز کاهش داشت. بنابراین، می‌توان بیان کرد که در استرالیا نیز تسریع رسیدگی گندم به‌دلیل تغییر اقلیم به‌دلیل کوتاه شدن طول دوره رویشی بود (جایی که در شرایط اقلیم کنونی دمای هوا پایین‌تر از دمای بهینه برای نمو مراحل فنولوژیک بود) و طول دوره پر شدن دانه تغییر آن‌چنانی نداشت. در مطالعه حاضر برای شرایط ایران، متوسط طول دوره کاشت تا شروع گرده‌افشانی برای کل کشور در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط اقلیم کنونی ۱۶ روز کاهش داشت.

افزایش کارایی استفاده از تشعشع در جهت افزایش عملکرد یکی از صفاتی است که همواره مورد توجه فیزیولوژیست‌ها و اصلاح‌گران بوده است (Reynolds et al., 2011; Richards, 2000). نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش کارایی استفاده از تشعشع، صفتی است که تأثیر آن بسته به منطقه می‌تواند متغیر باشد و حتی در برخی مناطق می‌تواند منجر به کاهش عملکرد شود. بیشترین اثر مثبت افزایش کارایی استفاده از تشعشع در مناطق گرم‌تر مشاهده شد. این در حالی بود که در برخی از مناطق خنک‌تر، اثر این صفت بر عملکرد منفی بود (شکل ۹).



شکل ۱۱- میزان تغییرات کارایی استفاده از تشعشع در شرایط اقلیم آینده نسبت به شرایط اقلیم کنونی در محدوده ایستگاه‌های مهم

Fig. 11- RUE change because of climate change (%) in compare to current climate within the regions covered by the RWSs for Irrigated wheat

با افزایش کارایی استفاده از تشعشع، امکان افزایش عملکرد از طریق افزایش تولید ماده خشک وجود دارد. هر چند که تولید ماده خشک با کارایی استفاده از تشعشع همواره رابطه مثبتی دارد، امّا رابطه ماده خشک، به‌خصوص در زمان گرده‌افشانی، با شاخص برداشت (جزء سوم رابطه) منفی است (Fletcher & Jamieson, 2009). به عبارتی دیگر، با افزایش کارایی استفاده از تشعشع، مقدار ماده خشک افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر، بعد از یک حد آستانه، با افزایش ماده خشک در زمان گرده‌افشانی، شاخص برداشت کاهش می‌یابد. برآیند این افزایش در ماده خشک و کاهش در شاخص برداشت، تعیین‌کننده میزان اثر کارایی استفاده از تشعشع بر عملکرد می‌باشد.

مونپارا (Monpara, 2011) با مقایسه ۲۱ رقم گندم در هندوستان نتیجه گرفت که افزایش طول دوره پر شدن دانه صفت مطلوبی برای افزایش عملکرد دانه گندم بود. یانگ و همکاران (Yang et al., 2008) نشان دادند که با افزایش مقدار تشعشع دریافتی در طول دوره پر شدن دانه در برنج، عملکرد دانه نیز افزایش یافت. افزایش طول دوره پر شدن دانه رابطه خطی مثبتی با مقدار تشعشع دریافتی تجمعی داشت. در گندم دوروم افزایش فتوسنتز جاری در طول پر شدن دانه از طریق به تأخیر افتادن زمان پیری برگ ها، منجر به افزایش ۱۲-۱۰

در صدی عملکرد شد (Spano et al., 2003). همان‌طور که افزایش طول دوره پر شدن دانه اثر مثبتی عملکرد دارد، کاهش طول دوره نیز به‌شدت باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. به‌عنوان مثال تسریع پیری برگ‌ها ناشی از تنش غرقاب در طول دوره پر شدن دانه باعث کاهش طول دوره و کاهش عملکرد دانه گندم به‌مقدار ۳۶ تا ۴۴ درصد شد. این در حالی بود که در ارقام مورد بررسی، تنش غرقاب در طول دوره رویشی تأثیری بر عملکرد دانه نداشت (Hossain et al., 2011). در استرالیا عملکرد بیشتر رقم گندم $SeriM_{82}$ در مناطق مختلف نسبت به ارقام دیگر (۶– ۲۸٪)، به سبزمانی برگ‌ها در طول دوره پر شدن این رقم نسبت داده شد که از این طریق طول دوره مؤثر پر شدن دانه افزایش یافت (Christopher et al., 2008).

در شرایط کشت آبی که محدودیت آب وجود ندارد، تسریع توسعه سطح برگ و سریع‌تر بسته شدن کانوپی منجر به افزایش دریافت تشعشع توسط گیاه می شود. با توجه به این‌که میزان تأثیرگذاری این صفت در مناطق مختلف کشور عمدتاً کمتر از شش درصد بود، به نظر می‌رسد که مقدار فیلوکرون برای ارقام کنونی برای شرایط آبی نزدیک به حد بهینه است. با توجه به اهمیت آب در کشت دیم و کاهش تبخیر آب از خاک ناشی از بسته شدن سریع‌تر کانوپی، اثر کاهش فیلوکرون و تسریع توسعه سطح برگ در شرایط تولید دیم می‌تواند بیشتر باشد. سلطانی و گالشی (Soltani & Galeshi, 2002) نشان دادند که در مناطق معتدل و نیمه‌مرطوب ایران، تسریع توسعه سطح برگ گندم منجر به افزایش عملکرد گندم آبی به‌میزان ۷–۱۰ درصد و در گندم دیم ۱۳–۱۸ درصد شد. در شرایط آبی در صورتی که افزایش سرعت توسعه کانوپی اثر مثبتی بر عملکرد نداشته باشد، با افزایش توسعه سطح برگ مقدار تعرق افزایش یافته و در نهایت، این موضوع منجر به کاهش بهره‌وری آب خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر کاهش و افزایش طول دوره شروع پنجه‌دهی تا شروع ساقه رفتن، طول دوره پر شدن دانه، کارایی استفاده از تشعشع و توسعه سطح برگ بر عملکرد پتانسیل گندم آبی بررسی شد. افزایش طول دوره پر شدن در همه مناطق باعث افزایش عملکرد پتانسیل شد. میزان تأثیر این صفت بر عملکرد پتانسیل برای اقلیم کنونی ۱۵/۳ در صد و برای اقلیم آینده ۱۶/۸ در صد بود. افزایش کارایی استفاده از تشعشع در سطح کشور باعث افزایش ۱۴/۷در صدی عملکرد برای اقلیم کنونی و ۱۳/۷ درصد برای اقلیم آینده شد. اثر این صفت بر عملکرد پتانسیل، در مناطق گرم بیشتر از مناطق خنک بود. در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده در برخی از مناطق خنک، افزایش کارایی استفاده از تشعشع منجر به کاهش عملکرد پتانسیل شد. افزایش طول دوره شروع پنجزنی تا شروع ساقه رفتن صفتی بود که فقط در مناطق گرم منجر به افزایش عملکرد شد و اثر آن در مناطق خنک یا ناچیز بود و یا باعث کاهش عملکرد پتانسیل شد. تسریع توسعه سطح برگ اثر چشمگیری بر عملکرد پتانسیل نداشت. کاهش طول دوره شروع پنجه‌زنی تا شروع ساقه رفتن، کاهش طول دوره پر شدن دانه، کاهش کارایی استفاده ار تشعشع و کاهش سرعت توسعه سطح برگ اثر منفی بر عملکرد پتانسیل داشتند. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر شرایط در حالت پتانسیل تولید در نظر گرفته شده و اثر عوامل مدیریتی مد نظر قرار نگرفته است. پیشنهاد می شود که در مطالعات مشابه، در کنار اثر محیط و ژنوتیپ به اثر عوامل مدیریتی بر عملکرد پتانسیل نیز پرداخته شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان لازم می‌دانند که از سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی جهت همکاری برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای انجام این مطالعه، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

References

Anderson, W.K., 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. Field Crops Research 116: 14-22.

Chmielewski, F.M., Müller, A., and Bruns, E., 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. Agricultural and Forest Meteorology 121: 69-78.

Christensen, J.H., Krishna Kumar, K., Aldrian, E., An, S.I., Cavalcanti, I.F.A., de Castro, M., Dong, W., Goswami, P., Hall, A., Kanyanga, J.K., Kitoh, A., Kossin, J., Lau, N.C., Renwick, J., Stephenson, D.B., Xie, S.P., and Zhou, T.,

2013. Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P.M., (Eds), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Christopher, J.T., Manschadi, A.M., Hammer, G.L., and Borrell, A.K., 2008. Developmental and physiological traits associated with high yield and stay-green phenotype in wheat. Australian Journal of Agricultural Research 59: 354-364.

Espe, M.B., Cassman, K.G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., and McKenzie, K., 2016. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. Field Crops Research 196: 276-283.

Farshi, A., 1998. Water requirements estimation for major agronomic and horticultural plants of Iran. Irans's Ministry of Agriculture of Iran Agriculture Education Press, Iran. (In Persian)

Fiorani, F., and Schurr, U., 2013. Future scenarios for plant phenotyping. Annual Review of Plant Biology 64: 267-291.

Fletcher, A.L., and Jamieson, P.D., 2009. Causes of variation in the rate of increase of wheat harvest index. Field Crops Research 113: 268-273.

Flohr, B.M., Hunt, J.R., Kirkegaard, J.A., Evans, J.R., Trevaskis, B., Zwart, A., Swan, A., Fletcher, A.L., and Rheinheimer, B., 2018. Fast winter wheat phenology can stabilise flowering date and maximize grain yield in semi-arid mediterranean and temperate environments. Field Crops Research 223: 12-25.

Ghanem, M.E., Marrou, H., and Sinclair, T.R., 2015. Physiological phenotyping of plants for crop improvement. Trends in Plant Science 20: 139-144.

Hammer, G.L., van Oosterom, E., McLean, G., Chapman, S.C., Broad, I., Harland, P., and Muchow, R.C., 2010. Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. Journal of Experimental Botany 61: 2185-2202.

Hanson, J.D., 1982. Effect of light, temperature and water stress on net photosynthesis in two populations of honey mesquite. Journal of Range Management 455-458.

Hossain, M.A., Araki, H., and Takahashi, T., 2011. Poor grain filling induced by waterlogging is similar to that in abnormal early ripening in wheat in Western Japan. Field Crops Research 123: 100-108.

Koo, J., and Dimes, J., 2010. Generic Soil Profiles for Crop Modeling Applications (HC27). International Food Policy Research Institute, Washington, DC, and University of Minnesota, St. Paul, MN. Available online at http://harvestchoice.org/node/662.

Liu, B., Chen, X., Meng, Q., Yang, H., and van Wart, J., 2017. Estimating maize yield potential and yield gap with agro-climatic zones in China—Distinguish irrigated and rainfed conditions. Agricultural and Forest Meteorology 239: 108-117.

Lollato, R.P., Patrignani, A., Ochsner, T.E., and Edwards, J.T., 2016. Prediction of plant available water at sowing for winter wheat in the southern great plains. Agronomy Journal 108: 745-757.

Martre, P., Quilot-Turion, B., Luquet, D., Memmah, M.M.O.S., Chenu, K., and Debaeke, P., 2015. Model-assisted phenotyping and ideotype design. In: V.O. Sadras, and D.F. Calderini, (Eds.) Crop physiology application for genetic improvement and agronomy. Academic Press/Elsevier Science.

Moeller, C., and Rebetzke, G., 2017. Performance of spring wheat lines near-isogenic for the reduced-tillering 'tin'trait across a wide range of water-stress environment-types. Field Crops Research 200: 98-113.

Monpara, B.A., 2011. Grain filling period as a measure of yield improvement in bread wheat. Crop Improvement 38: 1-5.

Morison, J.I., 1985. Sensitivity of stomata and water use efficiency to high CO_2. Plant, Cell and Environment 8: 467-474.

Ramirez-Villegas, J., and Challinor, A., 2012. Assessing relevant climate data for agricultural applications. Agricultural and Forest Meteorology 161: 26-45.

Reynolds, M., Bonnett, D., Chapman, S.C., Furbank, R.T., Manes, Y., Mather, D.E., and Parry, M.A., 2010. Raising yield

potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. Journal of Experimental Botany 62: 439-452.

Reynolds, M.P., Calderini, D., Condon, A., and Vargas, M., 2007. Association of source/sink traits with yield, biomass and radiation use efficiency among random sister lines from three wheat crosses in a high-yield environment. Journal of Agricultural Science 145: 3-16.

Ribeiro, R.V., Machado, E.C., and Oliveira, R.F.D., 2006. Temperature response of photosynthesis and its interaction with light intensity in sweet orange leaf discs under non-photorespiratory condition. Ciência e Agrotecnologia 30: 670-678.

Richards, R.A., 2000. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. Journal of Experimental Botany 51: 447-458.

Salehi, F., 2012. Desired Food Basket for Iranian People. 2012. Andisheh Mandegar Press, Iran. 58 p. (In Persian)

Sinclair, T.R., 2011. Challenges in breeding for yield increase for drought. Trends in Plant Science 16: 289-293.

Sinclair, T.R., Messina, C.D., Beatty, A., and Samples, M., 2010. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. Agronomy Journal 102: 475-482.

Soltani, A., and Galeshi, S., 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: experimentation and simulation. Field Crops Research 77: 17-30.

Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R., 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth and yield. International Journal of Plant Production 7: 711-740.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012 a. Identifying plant traits to increase chickpea yield in water-limited environments. Field Crops Research 133: 186-196.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012 b. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. European Journal of Agronomy 38: 22-31.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012 c. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI Press. 322 p.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2015. A comparison of four wheat models with respect to robustness and transparency: simulation in a temperate, sub-humid environment. Field Crops Research 175: 37-46.

Spano, G., Di Fonzo, N., Perrotta, C., Platani, C., Ronga, G., Lawlor, D.W., Napier, J.A., and Shewry, P.R., 2003. Physiological characterization of 'stay green' mutants in durum wheat. Journal of Experimental Botany 54: 1415-1420.

Sultana, H., Ali, N., Iqbal, M.M., and Khan, A.M., 2009. Vulnerability and adaptability of wheat production in different climatic zones of Pakistan under climate change scenarios. Climatic Change 94: 123-142.

Tao, F., and Zhang, Z., 2013. Climate change, wheat productivity and water use in the North China Plain: A new super-ensemble-based probabilistic projection. Agricultural and Forest Meteorology 170: 146-165.

van Bussel, L.G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., and van Ittersum, M.K., 2015. From field to atlas: upscaling of location-specific yield gap estimates. Field Crops Research 177: 98-108.

Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., and Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: An overview. Climatic Change 109: 5–3.

Wang, B., Li Liu, D., Asseng, S., Macadam, I., and Yu, Q., 2017 b. Modelling wheat yield change under CO_2 increase, heat and water stress in relation to plant available water capacity in eastern Australia. European Journal of Agronomy 90: 152-161.

Wang, B., Li Liu, D., Asseng, S., Macadam, I., Yang, X., and Yu, Q., 2017 a. Spatiotemporal changes in wheat phenology, yield and water use efficiency under the CMIP5 multimodel ensemble projections in eastern Australia. Climate Research 72: 83-99.

Weigand, C., and Analyst, M., 2011. Wheat import projections towards 2050. US Wheat Associates, USA.

Willenbockel, D., 2011. Exploring food price scenarios towards 2030 with a global multi-region model. Oxfam Policy and Practice: Agriculture, Food and Land 11: 19-62.

www.dssat.net. Available at 2018/08/23.

www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends. Available at 2018/08/23.

www.fao.org/faostat/en/#data/OA. Available at 2018/08/23.

www.yieldgap.org. Available at 2018/08/23.

www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted. Available at 2018/08/23.

Yang, W., Peng, S., Dionisio-Sese, M.L., Laza, R.C., and Visperas, R.M., 2008. Grain filling duration, a crucial determinant of genotypic variation of grain yield in field-grown tropical irrigated rice. Field Crops Research 105: 221-227.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 413-431

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۳۱-۴۱۳

Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L.) Traits Effects on Potential Yield under Current and Future Climates in Iran

S.M. Alimagham[1], A. Soltani[2*], V. Vadez[3], E. Zeinali[4] and E. Zand[5]

Submitted: 26-09-2018
Accepted: 11-11-2018

Alimagham, S.M., Soltani, A., Vadez, V., Zeinali, E., and Zand, E., 2020. Irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) traits effects on potential yield under current and future climates in Iran. Journal of Agroecology 12(3):413-431.

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) known as a main crop in Iran. It is the main source of calories and protein which directly provides 37 percent of the food calories and 40 percent of daily protein for people in Iran. Breeding to produce new cultivars is always an important way to increase crops yield. New cultivars breeding is a very complex process because there is an interaction between climate and genotype and the time is limited to produce new cultivars adapted to new climates. The target trait identification can accelerate new cultivar breeding process. The objectives of this study were to explore the potential benefit of irrigated wheat traits over the country to increase the yield.

Materials and Methods

This study was performed at potential yield simulation using SSM-Wheat crop model to evaluate different traits impact on irrigated wheat potential yield in Iran. For this purpose, the protocol presented by Global Yield Gape Analysis (GYGA) was used to identify the same climate zones and the main weather stations for irrigated wheat in Iran. The potential yield of irrigated wheat was simulated by SSM-iCrop model for the area covered by each main weather stations. The average potential yield was calculated at the country level by scaling up the simulated results within the area covered by weather stations using the GYGA protocol. All the simulations and calculations were done for existing cultivars and for the cultivars with desired plant traits, identified in this study, under current and future climates. The effect of desired plant on potential yield was quantified by comparison of simulation results between existing cultivars and the cultivars with desired plan traits. Future climate (2055) scenario were created for the sites using the baseline 1986-2005 and the projections for delta mean air temperature (and precipitation) which is the difference between the future air temperature (and precipitation) and baseline air temperature (and precipitation). Deltas of air temperature and precipitation were obtained from the international panel on climate change report which it used 42 GCM model outputs under RCP4.5 climate change scenario to calculate them.

Results and Discussion

In this study, the effect of increasing and decreasing of biological days from tillering to stem elongation, biological days from anthesis to philological maturity, the rate of canopy development and radiation use efficiency on irrigated wheat potential yield were evaluated. Increasing biological days from anthesis to philological maturity

1- Ph.D. Student of agroecology, Department of agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
2- Professor, Department of agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
3- IRD (Institut de Recherche pour le Développement)- University of Montpellier- UMR DIADE- 911 Av Agropolis- BP 64501- 34394 Montpellier Cedex 5, France- ICRISAT, System Analysis for Climate Smart Agriculture (SACSA), Patancheru 502324, Telangana, India.
4- Associate Professor, Department of agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
5- Professor, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Tehran, Iran.
(*- Corresponding Author Email Afshin.Soltani@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.75590

increased the potential yield in all the regions under current (15.3 %) and future climates (16.8%). The potential yield gain from increasing radiation use efficiency was 14.7% under current climate and 13.7% under future climate. The effect of decreasing biological days from tillering to stem elongation, biological days from anthesis to philological maturity, the rate of canopy development and radiation use efficiency on the potential yield were negative. Monpara (2011) reported that increasing duration of grain filling period was an effective trait to increase wheat yield in India. Yang et al. (2008) demonstrated that the yield of rice increased with increasing cumulative radiation receiving during grain filling period. There was positive correlation between cumulative radiation receiving during grain filling and grain filling duration. With longer stay green duration, the potential yield of wheat increased thereby raising photosynthesis during wheat grain filling period (Spano et al., 2003).

Conclusion

Increasing radiation use efficiency positive effect on potential yield in the regions with warmer climate was higher than the region with lower average temperature over the year. Increasing radiation use efficiency had negative effect on potential yield in some cooler regions. Increasing biological days from tillering to stem elongation just had positive effect on potential yield in the region with warmer climate and its effect was negative in the regions with cool climate. The faster canopy development had no significant effect on potential yield.

Keywords: Environment, Genotype, GYGA protocol, Late maturity, Radiation use efficiency, SSM-wheat model.